

*Essais de traction d'assemblage bois
entaillé boulonné par gousset métallique pour la charpente tridimensionnelle de la
salle omnisports Félix Eboué
Jacques Beauchêne 2003*

Le cabinet d'architecture Jungle Architecture Groupe à qui a été confié le marché de la salle omnisports Félix Eboué à Matoury, a conçu une charpente tridimensionnelle pour cet ouvrage. Cette charpente, dont chaque nœud doit reprendre 8 barres élémentaires, est prévue en carrelots de gonfalo de 120 x 120 mm² de section. L'organe de liaison métallique est un tube d'acier de 100 mm de diamètre sur lequel sont soudés 8 plaques métalliques de 10 mm d'épaisseur, chaque plaque étant boulonnée à une barre élémentaire.

Afin d'alléger l'ouvrage en limitant le nombre de barres élémentaires, le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage ont décidé de tester la résistance réelle de chaque assemblage élémentaire.

Le but de cette étude est donc de mesurer la résistance mécanique d'un assemblage élémentaire : un carrelé de 120 x 120 de gonfalo boulonné sur une plaque métallique de 10 mm d'épaisseur.

I. Protocole d'essai :

A. Introduction

L'assemblage ayant été dimensionné par un bureau d'étude, nous avons cherché dans un premier temps à limiter au maximum les variables d'essais, afin de limiter le nombre d'essais au strict nécessaire.

Fort est de constater qu'au fur et à mesure des essais le nombre de variables a augmenté, afin d'optimiser au mieux la résistance de l'assemblage et d'étudier l'influence des différents paramètres d'essais.

Les Variables d'essais étudiées sont les suivantes :

- L'humidité du bois qui varie de 22,9 % à 36,3 %
- Le diamètre du trou de perçage pour le boulon qui varie de 17,65 mm à 22 mm
- Le diamètre du boulon 2 diamètres testés l'un de 18 mm l'autre de 20 mm
- La qualité du boulon 3 qualités disponibles sur place 4.6 – 6.8 – 10.9
- Le couple de serrage qui varie de 5,5 à 14 kgm en fonction de la taille et de la qualité du boulon
- Le nombre de rondelles (1 à 2) et leur diamètre qui varie de 45 à 60 mm

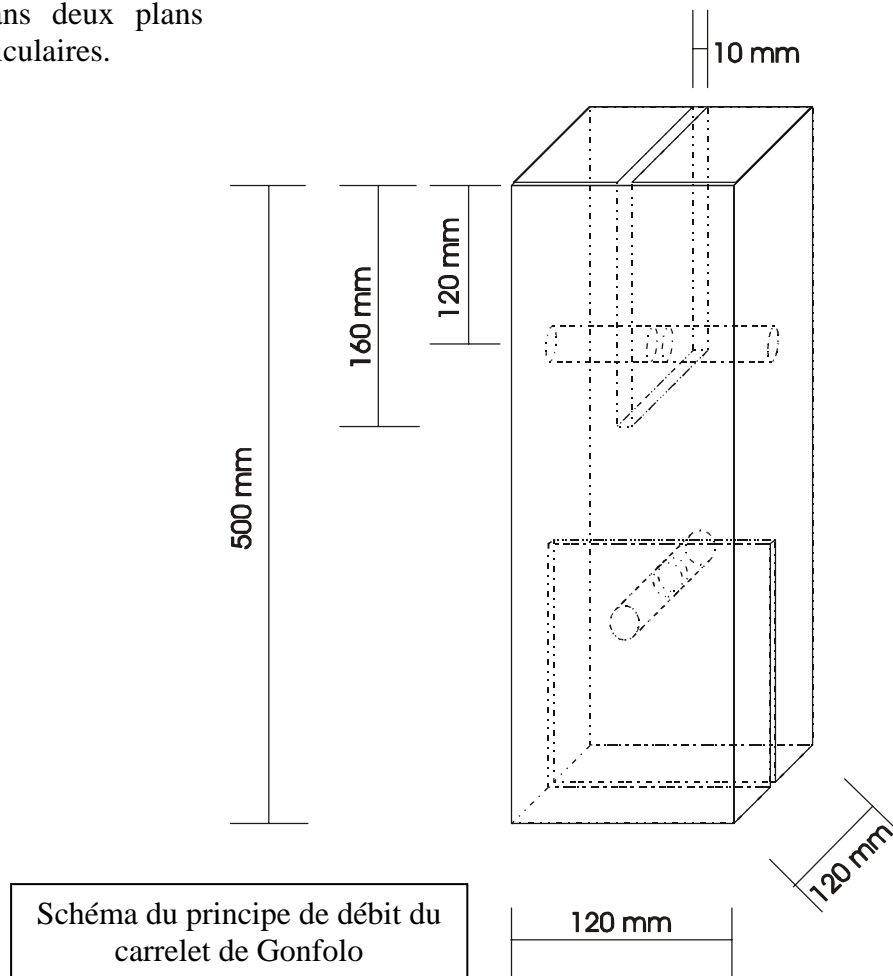
Nous avons conservé la même essence, le Gonfalo, pour tous les essais. De plus, la section et la géométrie des assemblages est la même pour tous les essais.

L'ensemble des résultats est présenté en annexe.

B. Dispositif d'essai

L'éprouvette d'essai est constituée d'un potelet de Gonfalo de 500 mm de long et de 120 x 120 mm² de section, entaillé aux deux bouts sur deux plans longitudinaux perpendiculaires.

La largeur de l'entaille est de 10 mm et sa longueur de 160 mm. De chaque coté un trou est percé perpendiculairement au plan de l'entaille et à 120 mm du bout (schéma 1).
Chaque éprouvette d'essai est donc constituée d'un double assemblage boulonné sur un gousset métallique de 10 x 60 x 300 mm³ pré percé et disposé dans un même axe longitudinal, mais dans deux plans perpendiculaires.



L'ensemble éprouvette et gousset est placé dans les mors d'une presse MTS de 100 kN de type 20 M.

Cette machine d'essai est gérée par le logiciel Testwork 4.1 qui permet un pilotage fin du déplacement de la traverse, via une vis sans fin, et l'acquisition de la force durant l'essai.

En parallèle, nous avons rajouté un deuxième poste informatique permettant de faire l'acquisition simultanée de la force, et de deux capteurs de déplacement (un pour l'assemblage du haut, l'autre pour l'assemblage du bas) par contact de marque Mitutoyo.

Une fois l'éprouvette en place, les boulons sont serrés avec une clef dynamométrique de marque Facom.

Une traction de mise en place de 5000 N est appliquée sur l'éprouvette.

La vitesse d'essai est constante pendant tous les essais : elle est de 1 mm/mn.

La durée des essais varie en fonction de la qualité des boulons de 7 à 40 minutes.

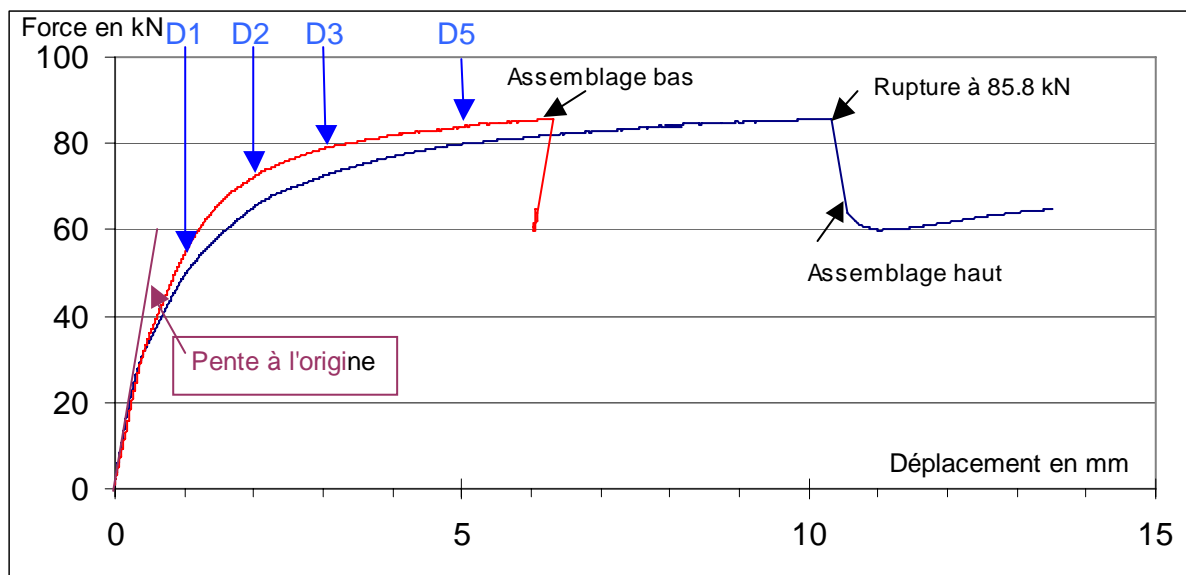
Les douze premiers essais ont été réalisés avec une limite en force de 70 kN.

Les trente essais suivants ont été faits jusqu'à rupture d'un des deux assemblages où le cas échéant jusqu'à dépassement de la force limite de la presse de 100 kN.

(Le capteur de force de 100 kN est étalonné régulièrement par un bureau de contrôle).



C. Descripteurs de l'essai



Graphique 1 : Exemple de courbe d'essai pour l'échantillon n°25

Peu de références existent sur les efforts admissibles pour le calcul des assemblages par gousset métallique. En général, les DTU comme le DTU 31.1 se réfèrent aux cahiers techniques du Centre Technique du Bois. Les préconisations des cahiers Techniques n°111 ou n°77 font référence à deux grandeurs caractéristiques :

- La moyenne des essais de la force à la rupture que l'on divise ensuite par un coefficient de sécurité de 2,75.
- La valeur de la force pour 1 mm de glissement de l'assemblage. Pour se rapprocher des Eurocodes nous calculerons le fractile à 5 % pour cette valeur (le fractile à 5% correspond à la valeur pour laquelle 95 % de la population est supérieure)

Normalement ces valeurs sont ramenées à la surface de recouvrement bois gousset.

Dans notre cas, nous avons minimisé cette surface (60 x 155 mm²) en prenant des fers plats de 60 mm de large au lieu de fers 100 mm prévus par le bureau de contrôle ; De plus l'influence du frottement bois-métal dans notre essai est relativement négligeable sur l'effort total. Nous conserverons donc des valeurs en force (kN) pour ces valeurs caractéristiques, ces valeurs sont donc directement utilisables pour le calcul de l'assemblage.

En plus de ces deux valeurs caractéristiques nous avons calculé à partir des courbes d'essais d'autres grandeurs comme la pente initial de la courbe, ainsi que les valeurs de force pour un déplacement de 2, 3 et 5 mm (cf. graphique 1).

La valeur de déplacement à l'origine de la pente de la partie linéaire du début de la courbe sert de référence au calcul des valeurs D1, D2, D3 et D5. Du fait de la mise en place de l'assemblage, on observe souvent un pied de courbe et cette origine n'est pas toujours égale à zéro.

II. Résultats

A. Rupture de l'éprouvette

Dans un premier temps, nous supposons que la rupture avait lieu pour une force supérieure à la limite de 100 kN de la presse MTS. Nous avons donc limité la force maximale de l'essai à 70 kN, mais au treizième essai, nous avons observé une rupture de l'éprouvette pour une force appliquée de 64 kN. La limite supérieure de la force a alors été ramenée à 100 kN.

Sur les 42 essais que nous avons réalisés, nous n'avons observé que 25 ruptures d'assemblage. Il n'y a rupture que d'un assemblage (le plus fragile) par éprouvette d'essai. La rupture de l'assemblage provoque une fente qui part du boulon jusqu'au bois de bout, en suivant le fil du bois (voir photo 2)

Parmi les variables d'essais étudiées seule la qualité du boulon et son diamètre ont une faible influence sur la valeur de la force à la rupture. Toutefois, nous avons volontairement testé des trous dont le diamètre est légèrement plus petit que le diamètre des boulons. Dans tous les cas, ces trous de plus faible diamètre (17,65 mm pour un boulon de 18 mm) fragilisent l'assemblage (cf. graphique 2). Lors du boulonnage de l'assemblage il y a apparition de zones de concentration de contraintes qui sont les initiatrices d'une rupture précoce.

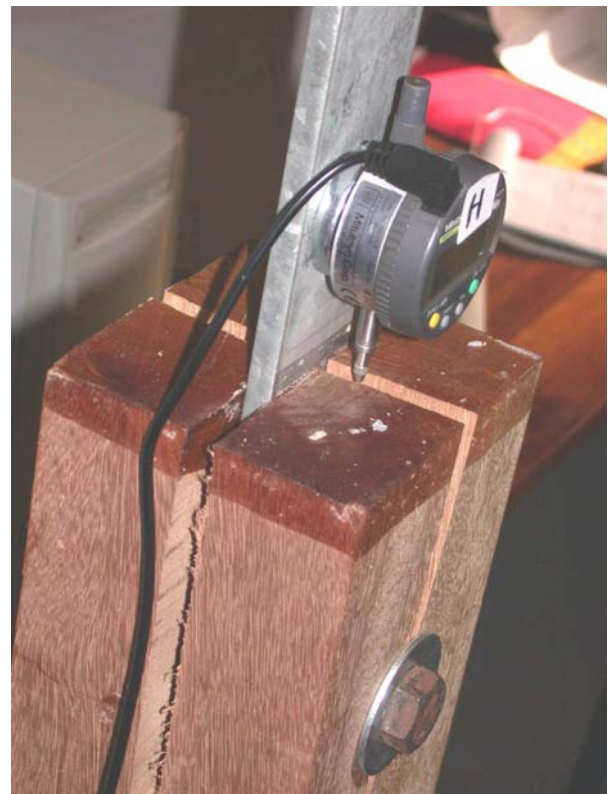
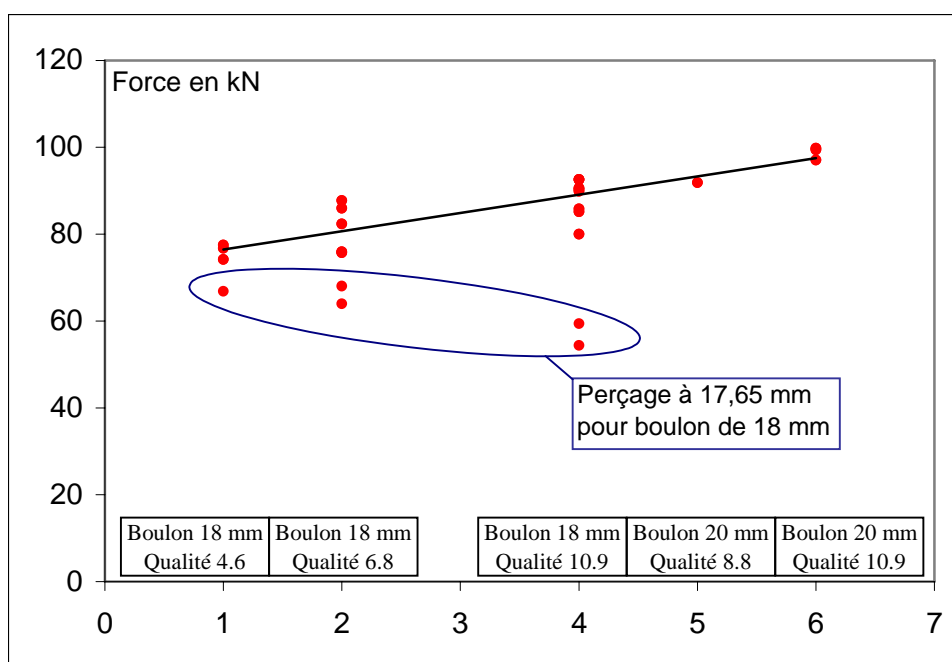


Photo 2 : Exemple de rupture d'un assemblage

NB : le bois de bout de l'éprouvette est trempé dans la cire pour éviter les fentes lors du séchage.



Graphique 2 : Evolution de la force à la rupture en fonction de la qualité et du diamètre des boulons

Si l'on ne tient pas compte des essais dont le diamètre du trou était de 17,65 mm, on obtient quelle que soit la qualité du boulon, le nombre de rondelles et l'humidité du bois les valeurs suivantes :

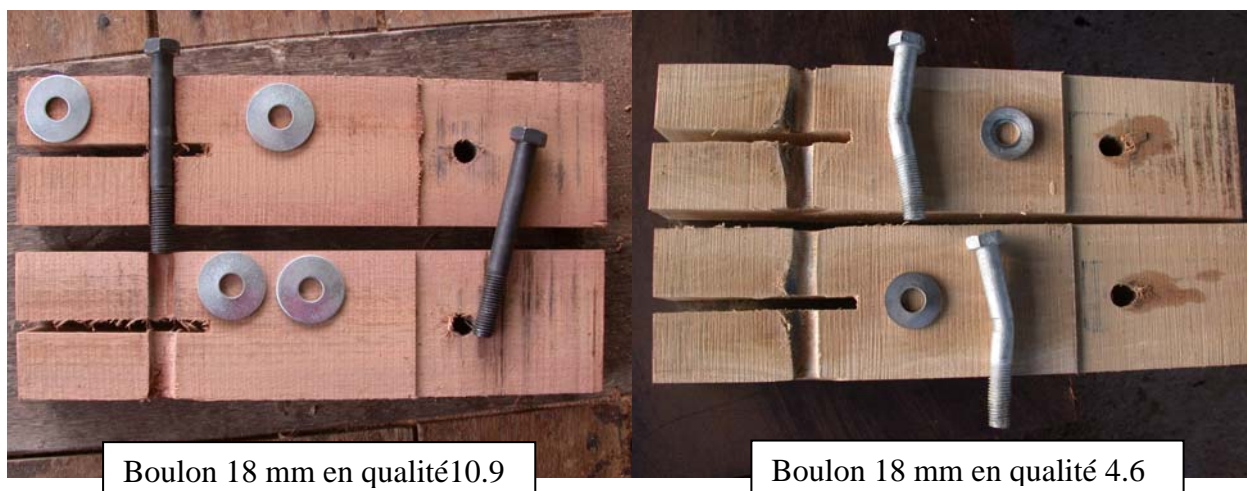
Taille du boulon	Force à la rupture moyenne en kN	Ecart -type	Valeur du fractile à 5%	Charge admissible
Boulon de 18 mm	83,9	6,5	75,0 kN	30 kN
Boulon de 20 mm	97,0	3,7	Non applicable	35 kN

Toujours sans tenir compte des essais à 17,65 mm on remarque que la qualité et le diamètre du boulon expliquent sur les vingt essais restant, les $\frac{3}{4}$ de la variabilité de la force à la rupture.

B. Glissement de l'assemblage

Lors d'un essai, on mesure une partie linéaire après la mise en place des assemblages. Cette portion linéaire (que nous appelons pente à l'origine par la suite) correspond à la rigidité de l'assemblage. Le boulon est encore dans son domaine élastique, mais rapidement le bois s'écrase. Les boulons de qualité 4.6 commencent leur domaine plastique en flexion à partir 1,5 tonne de charge environ ; alors que les boulons de qualité 10.9 ont un domaine élastique en flexion qui va jusqu'à 7 tonnes environ. La photo 3 montre les dommages de l'assemblage après un essai.

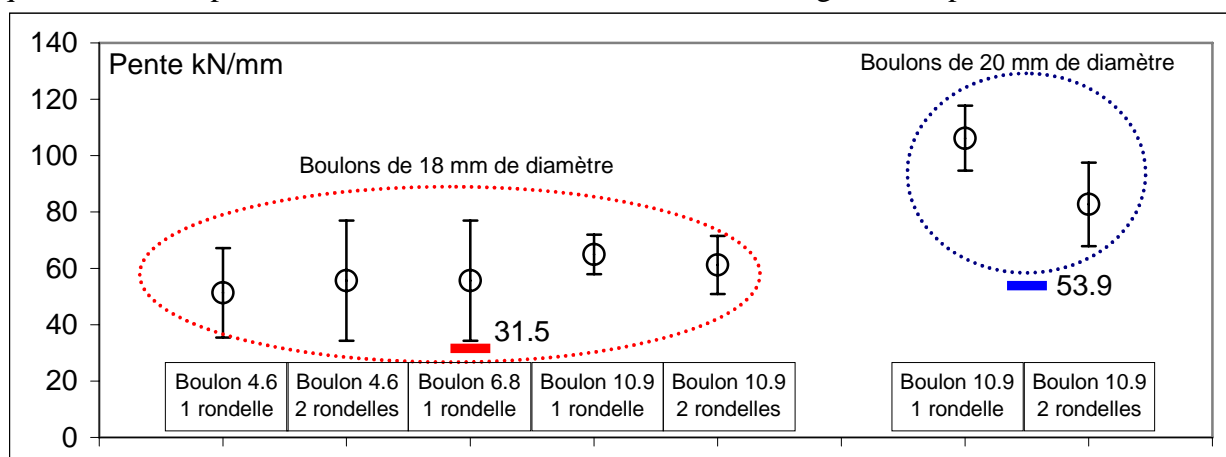
Photos 4 Comparaison des dommages après essais à 7 tonnes pour deux types de boulons



1. Pente à l'origine

La pente à l'origine traduit la rigidité de l'assemblage. On ne peut pas l'utiliser pour estimer la valeur de l'effort pour 1 mm de déplacement de l'assemblage, car la portion linéaire de la courbe d'essai est le plus souvent inférieure à 1 mm. Pour une extrapolation des valeurs de l'effort au dessous de 1 mm, les valeurs limites (Fe) d'utilisation de la pente sont données en Annexe.

Les valeurs de la pente à l'origine sont beaucoup plus variables (graphique 3) que les autres critères d'essais comme D1 par exemple. Les raisons de cette variabilité sont nombreuses mais les principales sont la différence de contact bois métal entre chaque assemblage ainsi que le défaut de parallélisme entre l'axe de traction et l'axe des goussets/éprouvette.

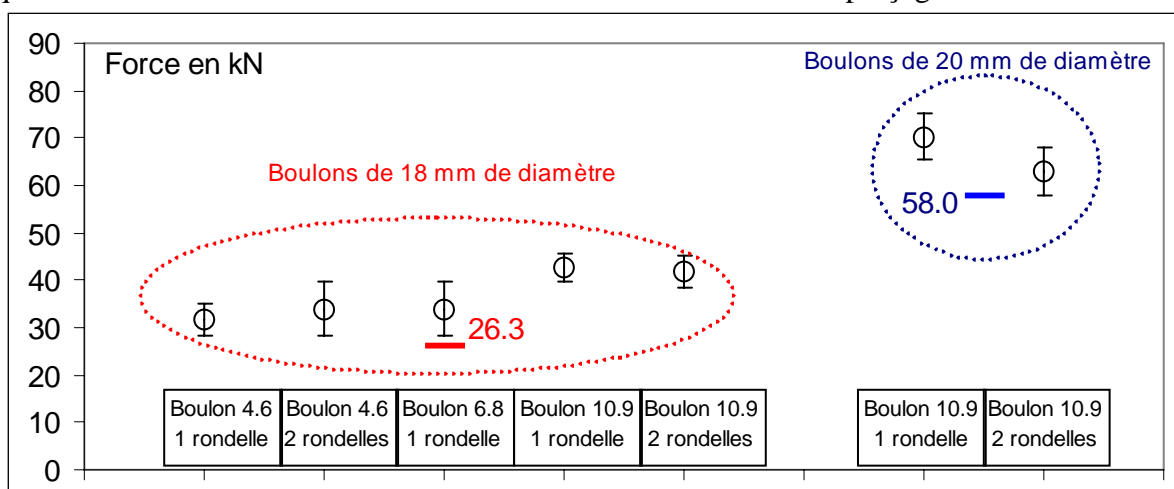


Graphique 3 : Evolution de la pente à l'origine en fonction de la qualité et du diamètre des boulons. Les barres d'erreurs représentent +/- l'intervalle de confiance de la population. On a aussi positionné pour chaque population la valeur du fractile à 5 %

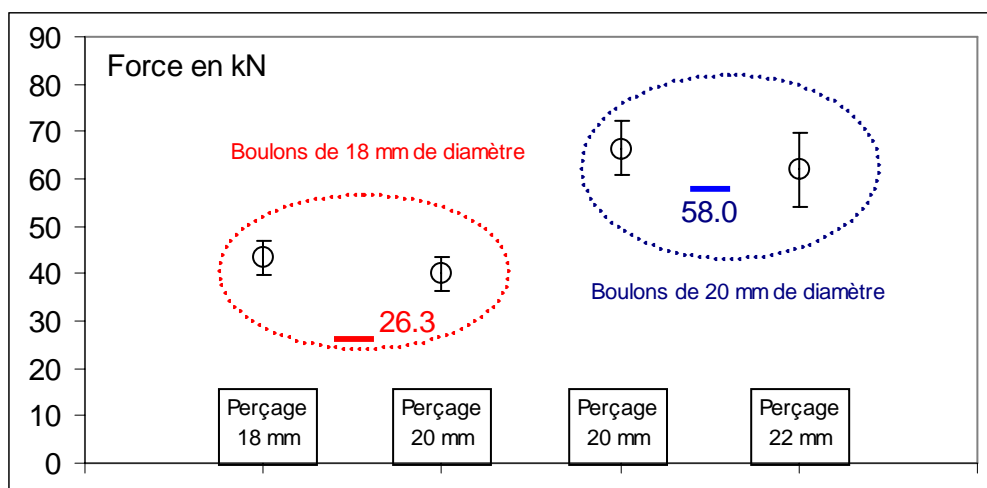
2. Déplacement de l'assemblage

Lorsque l'on essaie d'expliquer les différents descripteurs d'essai D1, D2, D3 et D5 (Force pour 1, 2, 3 et 5 mm de glissement de l'assemblage) on constate que le diamètre et la qualité du boulon explique les 2/3 de la variabilité de D1 et plus de 80 % de la variabilité de D2, D3

et D5. Les autres critères comme le diamètre de perçage, le couple de serrage, l'humidité du bois n'interviennent que très peu sur la variabilité. Les Graphiques 4 et 5 donnent un bon aperçu de l'ensemble des résultats pour la répartition des valeurs de D1 en fonction de la qualité et des diamètres des boulons et en fonction du diamètre de perçage.



Graphique 4 : Evolution de la force pour 1 mm de déplacement de l'assemblage (D1) en fonction de la qualité et du diamètre des boulons. Les barres d'erreurs représentent +/- l'intervalle de confiance de la population. On a aussi positionné pour chaque population la valeur du fractile à 5 %



Graphique 5 : Evolution de la force pour 1 mm de déplacement de l'assemblage (D1) en fonction du diamètre de perçage. Les barres d'erreurs représentent +/- l'intervalle de confiance de la population. On a aussi positionné pour chaque population la valeur du fractile à 5 %

Le Tableau donne les valeurs moyennes de D1 en fonction de la qualité et du diamètre du boulon, ces valeurs peuvent être directement utilisées pour le calcul de l'ouvrage.

Qualité du Taille du boulon	Moyenne 4.6	Ecart- type	Moyenne 6.8	Ecart- type	Moyenne 10.9	Fractile à 5% 10.9	Ecart- type
Boulon de 18 mm	32,7	4,6	42,7	5,7	47,3	32,1	5,7
Boulon de 20 mm	49,3		NS		67,1	58,0	6,8

Tableau 2 : Valeurs moyenne de la force en kN pour 1 mm de déplacement de l'assemblage **D1** suivant les qualités et les diamètres des boulons.

III. Préconisations et conclusion

Les quarante-deux essais de traction que nous avons faits sur un carret de Gonfolo boulonné sur un gousset métallique, nous ont amené aux résultats et préconisations suivants.

- La qualité d'acier du boulon utilisé a un rôle important dans la résistance de l'assemblage. Nous préconisons l'utilisation de boulon pour un ouvrage en charpente tridimensionnel de **qualité minimum 8.8**
- Le diamètre du trou n'a pas d'influence sur le glissement de l'assemblage par contre, nous avons vu que les trous inférieurs au diamètre du boulon fragilisent l'assemblage. Ils sont donc à proscrire. Pour limiter au maximum le jeu de la charpente **les trous doivent être du même diamètre que le boulon** ou quelques dixièmes de millimètre en plus si le montage l'oblige.
- L'utilisation de **rondelles larges (3 fois le diamètre du boulon) et épaisses (0,3 fois le diamètre du boulon)** comme le préconise le DTU 31.1 est fortement recommandée.

Quelle que soit la qualité du boulon nous obtenons les valeurs caractéristiques suivantes pour un carret de gonfolo de 120 x 120 mm de section et dont l'humidité d'environ 30 %

Charges admissibles à la rupture (avec un coefficient de sécurité de 2,75)

Pour un boulon de 18 mm = 30 kN

Pour un boulon de 20 mm = 35 kN

Pour des boulons de qualité 10.9 on obtient les valeurs du fractile à 5% pour la force nécessaire à 1 mm de glissement de l'assemblage suivantes :

Pour un boulon de 18 mm D1 = 32 kN

Pour un boulon de 20 mm D1 = 58 kN

Auteur : Jacques Beauchêne

Avec le soutien de :

